



车载武器学丛书

毛保全 王国辉 丁焯 杨志良 编著

车载武器建模与仿真

CHEZAI WUQI JIANMO YU FANGZHEN



国防工业出版社
National Defense Industry Press

车载武器学丛书

车载武器建模与仿真

毛保全 王国辉 丁 烨 杨志良 编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书以车载武器的特性及其变化规律为主要研究对象,以车载武器建模基本理论和仿真基本方法为主线,详尽而系统地介绍了几种典型车载武器的建模方法及仿真实例。全书共7章,包括绪论、坦克炮建模与仿真、自行火炮建模与仿真、车载炮建模与仿真、车载小口径机关炮建模与仿真、车载机枪建模与仿真、车载导弹建模与仿真,各章节既相互联系又各具独立性。

本书可作为从事火炮自动武器研究、论证、设计及试验的科研人员的参考资料,同时可作为武器相关专业研究生和高年级本科生的教材,也可供相关领域工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

车载武器建模与仿真 / 毛保全等编著. —北京:
国防工业出版社,2011.12
(车载武器学丛书)
ISBN 978-7-118-07622-6

I. ①车... II. ①毛... III. ①军用车辆—武器装备—
系统建模②军用车辆—武器装备—系统仿真 IV.
①TJ81

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 234626 号

※

国防工业出版社 出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)
北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 12 $\frac{3}{4}$ 字数 222 千字
2011 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 46.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

《车载武器学》丛书编委会

名誉顾问	朵英贤	王哲荣		
总顾问	吴玉金	王曙明	吴波	钱林方
顾问	董文祥	王建中	马春茂	周长军
	潘玉田	张湘炎	宋彦明	杨国来
	侯健	王克运	刘振伟	刘宝溢
	马晓军	杨臻		
主任委员	徐航			
副主任委员	刘德刚	李胜利	毛保全	
委员	邵毅	于子平	丁烨	杨志良
	伍水波	龙建华	王自勇	黄应清
	李保志	钟孟春	张金忠	王国辉
	徐达	朱宗平	牛守瑞	李强
	杨明华	闫述军	刘家健	纪兵
	吴东亚	李向荣	常江	邢宏光
	韩小平	范栋	陈占峰	赵俊严
	徐振辉	徐礼	王传有	苏忠亭
	汪凡	徐冰川	刘新亮	戴东明

前 言

随着坦克装甲车辆及自行火炮、车载炮等武器装备的不断发展,以装甲底盘为载体的武器已经逐步形成独具特色的车载武器群。建模与仿真技术在武器装备概念研究、论证、设计、分析、试验、鉴定、改进提高以及部队维护保养和训练中的应用,已得到研制方和使用部队的认可和重视。它对提高新一代武器装备综合性能,减少系统实物试验次数、缩短研制周期,节省研制经费,提高维护水平,延长寿命周期,强化部队训练等都起着越来越重要的作用。经过多年发展,车载武器建模与仿真已经形成一门有较完整理论体系与方法的学科分支。

目前,比较系统全面介绍车载武器建模与仿真实论和方法,体现车载武器建模与仿真最新研究和应用水平的专著还很少。本书充分吸收了车载武器建模与仿真方面的最新研究和应用成果,并结合了作者在车载武器系统研究方面的工作积累,对车载武器建模与仿真的理论、方法及其应用进行了较全面系统的归纳、总结和提炼。作者衷心期望本书的出版能对车载武器建模与仿真的理论研究及应用起到积极的推动作用。

本书以车载武器的特性及其变化规律为主要研究对象,以车载武器建模基本理论和仿真基本方法为主线,详尽而系统地介绍了几种典型车载武器的建模方法及仿真实例。全书共7章。第1章介绍了模型的基本概念和车载武器建模与仿真的步骤和过程以及车载武器一般的建模方法和复杂系统的建模方法。第2章介绍了坦克炮内外弹道模型、关键部件建模与仿真方法并对坦克行进间运动仿真进行了实例分析。第3章在分析自行火炮射击精度影响因素的基础上,介绍了行进间射击动力学建模与仿真方法以及自行火炮振动特性的分析方法。第4章主要介绍了车载炮的地面密集度和发射稳定性仿真分析方法,并分析了车载炮车身冲击响应理论。第5章介绍了车载自动炮关键部件和身管固有特性的建模与仿真方法。第6章对车载机枪的射击精度、振动特性和刚柔耦合的建模与仿真方法进行了全面介绍。第7章介

绍了车载导弹系统的数学模型,旋转导弹动力学模型和自寻导弹制导系统模型。各章节既相互联系又各具独立性。

本书的特色在于“全、新、精、实”。全,针对坦克炮、自行火炮和车载导弹等多种车载武器所涉及的动力学、运动学问题进行了全面分析,系统介绍了各种车载武器的典型建模理论与仿真方法;新,本书介绍的车载武器建模与仿真方法,都是现阶段车载武器应用的最新方法,体现了车载武器建模与仿真的最新研究和应用水平;精,针对不同类型的车载武器的典型建模问题,突出强调了其建模过程所包含的重点、难点和特殊问题的分析处理方法,如典型车载武器多体动力学建模理论、车载武器发射过程中非线性动力学分析理论等;实,在介绍各型车载武器建模与仿真方法后均有相应的实例分析,力求使读者通过学习这些案例可以进行相关车载武器的建模与仿真分析研究。

本书可作为从事车载武器研究、论证、设计、教学及试验的教师和科研人员的参考资料,同时可作为武器相关专业研究生和高年级本科生的教材,也可供相关领域工程技术人员参考。

本书得到了总装备部“1153”人才工程建设经费资助。在本书涉及的相关内容中,朵英贤院士、陈运生教授、钱林方教授、于子平高级工程师、周长军高级工程师、潘玉田教授、杨国来教授、何永教授、马吉胜教授等曾提供了有益的指导和帮助。徐振辉同志参加了第七章的编写工作。全书的文稿处理和绘图工作由常江、吴东亚、邢宏光、韩小平、赵俊严、徐礼、王传有、苏忠亭、汪凡、徐冰川、刘新亮、戴东明、薛静、卢浩等同志完成。在此,对上述同志的辛勤劳动一并表示衷心感谢。本书的编写和出版还得到装甲兵工程学院张金忠处长、李华刚同志、兵器工程系李保志政委、黄应清主任、钟孟春副主任、导弹室高玉水主任、火炮室全体同志以及国防工业出版社各级领导的大力支持和帮助,特向他们表示衷心的感谢。

由于水平和经验所限,书中难免有不少缺点和错误,恳请读者予以批评指正。

编者

2010年4月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 模型概念及分类	1
1.2 常见建模方法	3
1.2.1 常规建模方法	3
1.2.2 新型建模方法	5
1.3 仿真技术及其应用	7
1.3.1 常用仿真技术	7
1.3.2 仿真技术的应用	9
1.4 建模与仿真一般流程	11
1.5 车载武器建模与仿真研究内容	13
第 2 章 坦克炮建模与仿真	16
2.1 坦克炮射击密集度仿真分析	16
2.1.1 弹炮耦合模型	16
2.1.2 外弹道模型	18
2.1.3 立靶密集度模型	24
2.2 坦克炮部件刚强度分析	26
2.2.1 坦克炮身管的强度分析	26
2.2.2 坦克炮闩体刚强度有限元分析	28
2.3 行进间坦克炮动态特性仿真分析	30
2.3.1 基本假设	30
2.3.2 路面不平度仿真	32
2.3.3 车辆行驶中底盘振动仿真	33
2.3.4 车辆行进间坦克炮运动仿真	34
2.3.5 实例分析	37

第 3 章 自行火炮建模与仿真	39
3.1 自行火炮行进间射击精度建模与仿真	39
3.1.1 Kane - Huston 方法	39
3.1.2 系统模型的建立	41
3.1.3 作用载荷计算	43
3.1.4 射击精度计算	44
3.1.5 实例分析	45
3.2 自行火炮振动特性仿真分析	47
3.2.1 振动模型的建立	47
3.2.2 状态矢量的定义	48
3.2.3 振动特性的求解	48
3.2.4 实例分析	50
3.3 自行火炮非线性有限元建模与仿真	51
3.3.1 非线性有限元动力学分析方法	52
3.3.2 系统有限元建模	58
3.3.3 系统刚强度分析	61
第 4 章 车载炮建模与仿真	66
4.1 车载炮射击密集度仿真分析	66
4.1.1 射击密集度影响因素	66
4.1.2 起始扰动计算模型	70
4.1.3 射击密集度计算模型	71
4.1.4 射击密集度计算实例	76
4.2 车载炮发射稳定性分析	79
4.2.1 发射稳定性分析模型	79
4.2.2 系统参数灵敏度分析方法	81
4.2.3 系统参数对发射稳定性的影响实例分析	82
4.3 车载炮车身冲击响应分析	87
4.3.1 车载炮炮口冲击波流场分析	87
4.3.2 有限元方程	89
4.3.3 有限元模型建立	89
4.3.4 求解方法	90
4.3.5 实例分析	91

第 5 章 车载自动炮建模与仿真	97
5.1 自动机建模与仿真	97
5.1.1 自动机结构分析	97
5.1.2 自动机机构动力学	99
5.1.3 基于键合空间理论的碰撞问题建模	107
5.1.4 实例分析	110
5.2 身管弯曲仿真分析	112
5.2.1 身管弯曲机理分析	113
5.2.2 身管弯曲量计算	113
5.3 自动炮身管固有振动特性建模与仿真	114
5.3.1 身管模型的简化与离散	114
5.3.2 系统固有频率及模态的求解	116
5.3.3 实例分析	116
5.4 车载自动炮射频影响分析	117
5.4.1 30mm 链式自动炮原理	118
5.4.2 30mm 自动炮模型简化	118
5.4.3 柔性体建模	119
5.4.4 仿真分析	119
第 6 章 车载机枪建模与仿真	123
6.1 机枪发射过程动态特性建模与仿真	123
6.1.1 内弹道计算	123
6.1.2 后效期火药气体压力计算	127
6.1.3 机枪运动微分方程的建立	129
6.1.4 建模实例	145
6.2 车载机枪振动特性建模与仿真	149
6.2.1 振动问题概述	149
6.2.2 有限元建模	150
6.2.3 机枪动力响应计算	155
6.2.4 机枪刚柔耦合建模	155
第 7 章 车载导弹建模仿真	160
7.1 车载导弹系统模型	160

7.1.1	导弹动力学和运动学方程	160
7.1.2	弹体运动方程的简化	163
7.1.3	导弹弹体的传递函数	166
7.1.4	其他环节数学模型	170
7.2	车载反坦克导弹建模	171
7.2.1	车载反坦克导弹运动方程的建立	172
7.2.2	续航段导弹运动方程的简化	174
7.2.3	导弹简化运动方程的传递函数	175
7.2.4	第一代车载反坦克导弹系统数学模型	176
7.2.5	第二代车载反坦克导弹系统的数学模型	178
7.2.6	关于车载反坦克导弹系统数学模型的几个问题的讨论	182
7.3	车载防空导弹建模与仿真	184
7.3.1	制导回路各部分数学模型	184
7.3.2	导弹制导系统模型	186
7.4	车载炮射导弹制导系统数字仿真	188
7.4.1	制导系统组成及原理	188
7.4.2	制导系统数字仿真的主要内容	189
	参考文献	191

第1章 绪论

车载武器是我军目前陆军装甲装备中的主要装备。所谓车载武器,是指以装甲车辆为运输载体的武器,一般包括坦克炮、自行火炮、车载炮、车载小口径自动炮、车载机枪、车载反坦克导弹等。装备车载武器的装甲车辆有坦克、步兵战车、装甲输送车、自行火炮、导弹发射车、突击车等。

建模与仿真是指构造现实世界实际系统的模型和在计算机上进行仿真的有关复杂活动,主要包括实际系统、模型和计算机等。建模关系主要研究实际系统与模型之间的关系,它通过对实际系统的观测和检测,在忽略次要因素及不可检测变量的基础上,用数学的方法进行描述,从而获得实际系统的简化近似模型。

所谓仿真,就是在被研究对象及其特征抽象出的模型上进行实验,并对实验操作及实验结果的分析,探讨和推断对象本身所具有的性质及其运动变化规律。

传统的新的车载武器的设计者一般是从提高或者改善现有武器系统的效率出发,凭借实战经验和自己的判断来进行设计的。现代车载武器系统具有复杂、破坏力强、投资大、研制周期长的特点,在车载武器发展的过程中,对车载武器的效能进行客观的评价是至关重要的,武器装备的技术性能,虽然可以通过各种靶场试验来做出评价,但对大多数现代高技术武器来说,实际的靶场试验费用昂贵。

如果仍然沿用传统的研制开发手段,难免会在研制阶段因决策的失误造成人力、物力和财力的浪费,在使用阶段因装备性能的缺陷造成不必要的牺牲和物质损失。因此运用现代建模与仿真的手段,不仅可以极大的加快新的车载武器系统技术可行性、性能指标和使用效率的提升,而且可以节省各种试验费用。

1.1 模型概念及分类

模型是对相应的真实对象和真实关系中那些有用的和令人感兴趣的特性的

抽象,是对系统某些本质方面的描述,它以各种可用的形式提供被研究系统的描述信息。从某种意义上来说,模型是系统的代表,同时也是对系统的简化。另一方面,所建的模型应足够详细,以便从模型的试验中取得关于实际系统的有效结论。

模型一般可分为物理模型、概念模型和数学模型。

物理模型又称为实物模型,它是根据一定的规则对系统简化或比例缩放而得到的复制品,因此,其外观与实际系统极为相似,描述的系统具有逼真感较强,精确度高的优点,但由于造价高昂,或者耗时过长,不为广大的研究人员所接受,大多是在一些特殊的场合下采用。

所谓概念模型就是为了某一目的,对真实世界及其活动进行的概念抽象与描述,是运用语言、符号和框图等形式,从所研究的问题抽象出的概念进行有机组合。也就是对真实世界(人、物、事等)进行人为处理,抽取它们的本质特征,如结构特征、功能特征、行为特征等,把这些特征用各种概念,采取一定的形式精确地描述出来,并根据它们之间的相互关系,进行有机组合来共同说明所研究的问题。这些有机组合的概念就组成了某种概念模型。

概念模型是独立于系统执行的,概念模型只用于抽象和常规设计,它只是系统信息定义的规模描述,而不用于具体和专门的执行设计。

随着计算机与微电技术的飞速发展,人们越来越多地采用数学模型在计算机上进行仿真实验研究。一般来说,数学模型可以描述为对于现实世界的一个特定对象,为了一个特定目的,根据对象特有的内在规律,做出一些必要的简化假设,运用适当的数学工具,得到的一个数学结构。通过对系统数学模型的研究可以揭示实际系统内在运动和系统的动态特性。

数学模型的类型一方面与所讨论的系统特性有关,一般来说,系统有线性与非线性、静态与动态、确定性与随机性、微观和宏观、定常(时不变)与非定常(时变)、集中参数与分布参数之分,故描述系统特性的数学模型必然也有这几种类型的区别;另一方面与研究系统的方法有关,此时连续模型与离散模型、时域模型与频域模型、输入输出模型与状态空间模型之分。常见模型分类如图 1-1 所示。

坦克炮建模与仿真中的坦克简化模型和履带简化模型,以及自行火炮建模与仿真中的自行火炮动力学模型等都属于概念模型;自行火炮建模与仿真中的通过模块化和参数化射击的自行火炮有限元模型、车载炮建模与仿真中的某 122mm 车载炮模型和车载机枪建模与仿真中的某机枪的装配有限元模型等这一类模型属于数学模型。

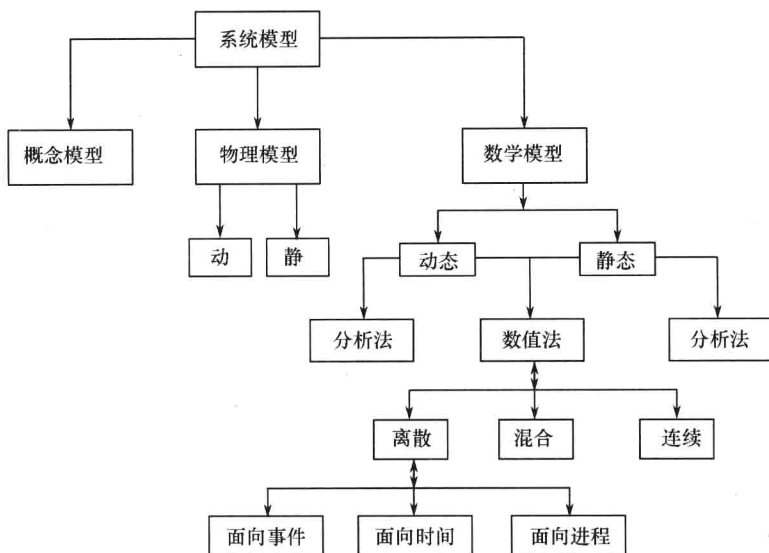


图 1-1 模型的分类

1.2 常见建模方法

1.2.1 常规建模方法

目前常用的建模方法有机理建模和辨识建模方法。

1.2.1.1 机理建模方法

机理建模方法是利用物理和化学定律、能量守恒和质量守恒等原则,根据数学关系式推导出的数学模型。利用这种方法建立的数学模型称为机理模型。

例如由一个质量为 m 的重块,一个阻尼系数为 β 的阻尼器和一个刚度为 k 的弹簧组成的机械系统,在外力 F 的作用下,根据牛顿定律可得出这个系统重块的力平衡方程式为

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} + \beta \frac{dx}{dt} + kx$$

式中: x 是重块的位移; $\frac{dx}{dt}$ 是它的速度; $\frac{d^2x}{dt^2}$ 是它的加速度; $m \frac{d^2x}{dt^2}$ 表示惯性力; $\beta \frac{dx}{dt}$ 表示阻尼力; kx 表示弹簧力。

上式是该机械系统的准确的机理数学模型。它是以微分方程式描述的时间模型。

又如一个由电感 L 、电容 C 和电阻 R 组成的电路,输入电压为 u_1 时,取电容上的电压 u_c 为输出的话,则输入电压 u_1 与输出电压 u_c 的关系,根据克希霍夫定律,可由如下的微分方程式描述

$$u_1 = LC \frac{d^2 u_c}{dt^2} + RC \frac{du_c}{dt} + u_c$$

上式准确地描述了该电路的输入输出特性。它也是连续时间微分方程式的形式。

比较上述两个模型,可以发现两者是相似的。如果参数选择得当,使 $LC = m$, $RC = B, k = 1$, 则两者完全相同。这说明,不同的系统(机械的、电气的)其运动行为可以是完全一样的,可以用一个统一的数学模型来描述它们的运动行为。这就是进行仿真的基础。即一个系统的运动行为可以由具有相同数学模型的另一系统来模仿。用一个电气系统来仿真一个机械系统,研究它的运动行为和特性,简单可行、费用低、灵活。这正是仿真系统的优越性。

1.2.1.2 辨识建模方法

辨识模型是根据系统的运行或试验数据建立一个等效的数学模型。这种数学模型可复现系统的输入输出运行数据,称为辨识模型。

对于一个单输入单输出的线性定常系统,通常可以用一个时间离散的差分方程来描述

$$\begin{aligned} y(k) + a_1 y(k-1) + \cdots + a_n y(k-n) \\ = b_1 u(k-1) + b_2 u(k-2) + \cdots + b_n u(k-n) + e(k) \end{aligned}$$

式中: $u(k)$ 和 $y(k)$ 是系统实际测量到的输入输出序列; $e(k)$ 是零均值具有相同分布的不相关的随机序列。其中 n 表示系统的阶数,假设是已知的。

这种模型形式已定,未知的是模型中的系数 $a_i, b_i (i = 1, 2, \cdots, n)$ 。可以对输入输出进行多次观测,比如观测 $N + n$ 次, $N \geq n + 1$ 。就可以利用这一组观测到的输入输出数据来构造一组方程式,根据这组方程式求取系数 a_i, b_i ; 确定系数 a_i, b_i 的原则是使模型表示式中表征误差项的 $e(k)$ 的平方和为最小,即

$$y_{\min} = \sum_{i=1}^N e^2(n+i)$$

这个表示式在辨识模型中称为指标函数(代价函数或损失函数)。这样确定模型的方法叫最小二乘法。它广泛应用于实际工程中。

如果 $e(k)$ 不是相互独立的(实际很多系统是这样的),这时可采用广义最小二乘法、辅助变量法等。

用机理分析方法建立起的机理模型能够充分地描述系统输入输出数据关系

以及内部联系和运动规律。但是如果对系统的先验知识了解和掌握得比较少,系统又比较复杂,则很难求得机理模型。在这种情况下,人们开始运用系统辨识技术,通过试验数据建立数学模型。利用辨识技术求得的数学模型是一类数学模型,不是唯一的。它只反映输入和输出之间的关系,对系统内在联系及信息不能充分反映。因此,比较理想的数学模型是将机理分析方法和系统辨识方法取长补短、相互补充来建立的数学模型。在实际中,对于复杂的系统,比较成功的数学模型都是综合应用了这两种方法建立的。

1.2.2 新型建模方法

随着科学技术的发展,传统的建模方法已不适用于大型的复杂的系统,对复杂系统的数学描述或建模相应地需要有非传统的语言和工具。对此,许多学者正致力于这方面的研究,其建模方法大致可分为以下几类:

1. 模糊逻辑建模

李波等提出采用模糊类推推理方法进行复杂系统定性建模的思想,基于这种思想,提出一种基于模糊类推推理的复杂系统定性建模的算法,即已知一模糊定性观测值和模糊规则体使用类推推理推出模糊结论的算法。在其《基于模糊类推推理的复杂系统定性建模》文献中基于模糊逻辑和类推推理相结合,定义了表示系统状态的可以把个人启发性知识加入隶属度表示的模糊定量空间,并发展了以输入输出空间中模糊集相对位置的距离测量为依据进行类推得出结论的算法。该方法一方面基于类推推理的结论,同时又可把启发性知识加入到结论中,对复杂系统在不精确、不完备的信息下进行建模提供了一种方法,为研究定性定量相结合解决复杂系统建模提供了一个途径。

2. 粗糙集理论建模

李文等研究了基于粗糙集理论建立模糊模型的方法。在广义模型化概念的指导下,以粗糙集理论为基础,构造了一种新的模糊模型表示形式。针对模糊模型的完备化问题,提出了整定与扩充的原理和方法,进而给出一种基于粗糙集理论的模糊系统建模方法,并运用该方法定量分析了脉冲 TIG 焊这一复杂过程,建立了关于熔池背面宽度的模糊模型。他提出的建立模糊模型的粗糙集方法能够在数据不确切、不完整和不确定的情况下比较客观地、有效地提取复杂过程的模糊模型。

3. 模糊神经网络建模

何谦等提出了一种由函数逼近和规则推理网络构成的复合型模糊神经网络建模方法。该复合型模糊神经网络由两个模糊神经网络——函数网络和规则网络组合而成。函数网络采用一类改进型模糊神经网络结构,用于实现对象建模

的函数运算功能,完成非线性函数逼近。规则网络应用了基于规则推理和学习的模糊神经网络结构,通过对对象先验知识的利用,实现操作区域的划分。该复合型模糊神经网络,由于强调了对过程先验知识的利用和学习,因此能够有效地提高对复杂系统在大区段范围的逼近和泛化能力。此类复合型模糊神经网络由于兼备函数建模和规则推理的结构特点,因此较之普通型模糊神经网络在建模收敛速度和预测精度等方面都有较大的改善。全永兵等提出一种新型的双曲正切模型。该模型是一种模糊模型,可以很容易由几条模糊规则得出。同时,该模型也是一种神经网络模型,因此模型参数可以通过网络学习获得。该模型给出了复杂系统建模的一种新的途径:只要知道各个状态变量的导数与状态变量及输入变量之间的简单的语言信息,便可以推出双曲正切模型。可以根据专家经验来确定模型参数的初始值,再利用神经网络强大的学习功能寻找参数最优值。相对于其他模型来说,双曲正切模型具有求解方便的优点。

4. 遗传算法与神经网络结合建模

李艳君等提出一种结合遗传算法(GA)与正交优选法来训练径向基函数(RBF)神经网络的方法,称为GRBF算法。该方法将遗传算法与正交优选法有效地结合,并对基函数宽度进行自动地调整以保证一定的区间覆盖度,利用GA的全局寻优特点和正交优选法决定隐层单元个数的优势确定出合适的中心,以获得好的逼近效果。该算法提高了径向基函数神经网络的泛化能力和鲁棒性,为复杂系统的建模提供了一条新的途径。

5. 分形思想建模

萧蕴诗等结合具体的复杂系统建模实例,论述了一种基于分形思想的复杂系统功能模型的开发方法。该方法在系统开发总体要求指导下,对系统各级功能模型从整体向局部,从宏观向微观逐步深化;在模块化、强内聚、弱偶合条件下,按照对象的复杂性程度进行分层细化。该方法从总体上说是将组合式复杂大系统用简单的分形子系统来逼近和覆盖,各子系统间的功能既互相独立又互相联系,通过考察子系统与整体系统的局部相似性,将系统分解成多个分形子系统。同时,分解应以便于合成的方式进行组合,以便在考察整个复杂系统特征时有一个较为简便的合成途径。这是一种对总体特征的集成化建模与局部特征的详细分析相统一的复杂系统建模方法。

6. 多模型方法

李柠等针对结构未知的复杂非线性系统,从理性建模的思想出发,提出一种基于局部多项式拟和(LPF)算法的多模型建模方法。实际系统在运行中往往存在多个不同的工况,每个工况下的系统又具有不同的非线性特征,因此用多个局部模型表征系统不同工况下的模型具有不同的切换要求。为此,他提

出从多模型的理性建模思想出发,在系统积累的大量输入输出数据中找出与系统当前模态相匹配的数据集合,并利用局部多项式拟和((LPF)算法建立系统的局部模型,根据系统模态的变化建立系统的多个模型,实现对全局的准确建模。

7. 结构建模

肖人彬在对现有解释结构建模((ISM)方法进行分析的基础上,针对复杂系统结构建模特点,采用将拓扑分析演化为代数分析的思路,提出了一种结构建模新方法,该方法包括强连通子集划分、区域划分、级别划分、求骨架矩阵等4个环节。他提出的思路是将拓扑分析使用的有向图以其同构矩阵表示,把拓扑分析演化为代数分析,从而借助计算机的海量存储和高速信息处理能力,来弥补处理大规模复杂问题时存在的能力缺陷。

1.3 仿真技术及其应用

自20世纪40年代计算机问世以来,随着系统理论、计算机技术、图形技术、建模技术的进步,仿真技术得到迅速发展,已广泛应用于科学研究、工程设计、数学与人员培训等过程中。

仿真是通过模型来模拟现实系统,帮助我们了解现实系统,对现实系统进行改进,对新系统进行开发设计和规划的一种活动。它从出现开始就成为人类生产生活的好帮手,但由于当时的科学技术条件和仿真技术研究程度的局限性,直到20世纪40年代计算机诞生后,仿真与系统科学、控制科学、计算机科学相结合,它才真正成为一个可以广泛应用于各行各业的有力工具。它把研究对象视为一个系统,以计算机作为仿真模型的载体,具有使仿真实验可视化、快速化并且大量减少真实实验成本的优点,现在也称系统仿真或计算机仿真。

1.3.1 常用仿真技术

目前国内仿真技术研究的热点主要有:复杂系统建模理论与方法、仿真VV&A(Verification Validation and Accreditation)技术、仿真算法和优化、可视化多媒体仿真技术研究、协同分布式仿真技术、虚拟仿真技术等研究。

1. 复杂系统建模理论与方法

与传统的系统仿真方法相比较,复杂系统仿真的难点主要在于:(1)复杂系统研究的理论基础尚未达到如物理系统领域的抽象程度,通过系统分析而产生的数学模型常常可信度比较低;(2)复杂系统往往具有病态定义的特征,即难以以一种严格的数学形式来对它进行定义及定量分析;(3)复杂系统具有病态结